

О. В. ПИЛИПЕНКО

ВИРІШЕННЯ СУЧАСНИХ ПРОБЛЕМ ДИНАМІКИ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ

Інститут технічної механіки

Національної академії наук України і Державного космічного агентства України,
вул. Лешко-Попеля, 15, 49005, Дніпро, Україна; e-mail: office.itm@nas.gov.ua

Мета статті – огляд основних результатів, отриманих за останні роки у відділі динаміки гідромеханічних і віброзахисних систем Інституту технічної механіки Національної академії наук України і Державного космічного агентства України при вирішенні сучасних проблем динаміки рідинних ракетних двигунів (РРД), поздовжньої стійкості рідинних ракет-носіїв, динаміки віброзахисних систем, газодинаміки елементів авіаційних газотурбінних двигунів, динаміки гідравлічних систем з кавітуючими елементами. Представлено наступні результати. Розроблено математичну модель динаміки насосів РРД, яка доповнює гідродинамічну модель кавітуючих насосів РРД за рахунок можливості математичного моделювання режимів запирання. Розроблено підхід до побудови нелінійної математичної моделі заповнення гідравлічних трактів РРД, який дозволяє в разі необхідності автоматично змінювати схему розбиття гідравлічного тракту на скінченні гідравлічні елементи в процесі його заповнення при розрахунках запуску. Проведено дослідження динамічних процесів при запуску багатодвигунної рідинної ракетної установки, яка складається з чотирьох РРД із допалюванням окислювального генераторного газу, з урахуванням можливості їхнього неоднотимчасного вступу в роботу. Визначено максимальні величини гідравлічних ударів і провалів тиску окислювача і пального на вході в рідинну реактивну систему (РРС) при запуску і зупині двигуна, які були використані при визначенні працездатності РРС при запуску і зупині маршового двигуна РД 861К. Виконано теоретичний аналіз поздовжньої стійкості ракети-носія «Циклон-4М» із використанням критерію Найквіста. Розроблено чисельний підхід до визначення параметрів акустичних коливань продуктів згоряння в кільцевих камерах згоряння рідинних ракетних двигунів з урахуванням особливостей конфігурації вогневого простору і зміни фізичних властивостей газового середовища в залежності від осевої довжини камери. Розроблено і виготовлено прототип віброзахисної системи, проведено його динамічні випробування й підтверджено високу ефективність віброзахисної системи при гасінні ударних і гармонійних збурень. Розвинуто підходи до аеродинамічного вдосконалення елементів авіаційних газотурбінних двигунів. Вирішено актуальні проблеми подібнення твердих речовин в рідкому середовищі з використанням кавітаційно-імпульсної технології.

Ключові слова: рідинна ракетна двигунна установка, рідинний ракетний двигун, динаміка, стійкість, віброзахисна система, аеродинамічне вдосконалення, газотурбінний двигун, кавітаційно-імпульсна технологія.

1. Пилипенко В. В., Задонцев В. А., Довгоцько Н. И., Григорьев Ю. Е., Манько И. К., Пилипенко О. В. Динамика жидкостных ракетных двигательных установок и продольная устойчивость жидкостных ракет-носителей. *Техническая механика*. 2001. № 2. С. 11–37.
2. Долгополов С. И. Верифікація гідродинамічної моделі кавітуючих насосів РРД за теоретичними та експериментальними передавальними матрицями насосів. *Технічна механіка*. 2020. № 3. С. 18–29. <https://doi.org/10.15407/itm2020.03.018>
3. Долгополов С. И. Математичне моделювання режимів запирання при кавітаційних автоколиваннях у гідравлічних системах з кавітуючими насосами РРД. *Технічна механіка*. 2020. № 4. С. 35–42. <https://doi.org/10.15407/itm2020.04.035>
4. Долгополов С. И. Математичне моделювання жорстких режимів збудження кавітаційних автоколивань у системі живлення рідинних ракетних двигунів. *Технічна механіка*. 2021. № 1. С. 29–36. <https://doi.org/10.15407/itm2021.01.029>
5. Пилипенко О. В., Хоряк Н. В., Долгополов С. И., Николаев А. Д. Математическое моделирование динамических процессов в гидравлических и газовых трактах при запуске ЖРД с дожиганием генераторного газа. *Технічна механіка*. 2019. № 4. С. 5–20. <https://doi.org/10.15407/itm2019.04.005>
6. Долгополов С. И. Адаптація гідродинамічної моделі кавітаційних коливань для моделювання динамічних процесів в насосних системах при великих числах кавітації. *Технічна механіка*. 2017. № 2. С. 12–19. <https://doi.org/10.15407/itm2017.02.012>
7. Долгополов С. И., Николаев А. Д. Математическое моделирование низкочастотной динамики регулятора расхода жидкости при различных амплитудах гармонического возмущения. *Технічна механіка*. 2017. № 1. С. 15–25. <https://doi.org/10.15407/itm2017.01.015>
8. Пилипенко О. В., Долгополов С. И., Николаев А. Д., Хоряк Н. В. Математическое моделирование запуска многодвигательной жидкостной ракетной двигательной установки. *Технічна механіка*. 2020. № 1. С. 5–18. <https://doi.org/10.15407/itm2020.01.005>
9. Николаев А. Д., Башлий И. Д., Свириденко Н. Ф., Хоряк Н. В. Определение параметров движения границы раздела сред «газ – жидкость» в топливных баках космических ступеней на пассивных участках полета ракет-носителей. *Технічна механіка*. 2017. № 4. С. 26–40. <https://doi.org/10.15407/itm2017.04.026>
10. Пилипенко О. В., Николаев А. Д., Башлий И. Д., Долгополов С. И. Математическое моделирование динамических процессов в системе питания маршевого двигателя космических ступеней ракет-носителей

- на активных и пассивных участках траектории полета. Космічна наука і технологія. 2020. 26(1). С. 3–17. <https://doi.org/10.15407/knit2020.01.003>
11. Kook Jin Park, JeongUk Yoo, SiHun Lee, Jaehyun Nam, and Hyunji Kim, Juyeon Lee and Tae-Seong Roh and Jack J. Yoh, Chongam Kim, and SangJoon Shin. Pogo Accumulator Optimization Based on Multiphysics of Liquid Rockets and Neural Networks. Journal of Spacecraft and Rockets Vol. 57, No. 4, July–August 2020. P. 809–822. <https://doi.org/10.2514/1.A34769>
 12. Pylypenko O. V., Degtyarev M. A., Nikolayev O. D., Klimenko D. V., Dolgoplov S. I., Khoriak N. V., Bashliy I. D., Silkin L. A. Providing of POGO stability of the Cyclone-4M launch vehicle. Space Science and Technology. 2020. Т. 26. № 4. С. 3–20. <https://doi.org/10.15407/knit2020.04.003>
 13. Пилипенко В. В., Долгополов С. И. Экспериментально-расчетное определение коэффициентов уравнения динамики кавитационных каверн в шнекоцентробежных насосах различных типоразмеров. Техническая механика. 1998. № 8. С.50–56. [https://doi.org/10.1016/S0262-1762\(99\)80457-X](https://doi.org/10.1016/S0262-1762(99)80457-X)
 14. Хоряк Н. В., Долгополов С. И. Особенности математического моделирования динамики газовых трактов в задаче об устойчивости низкочастотных процессов в жидкостных ракетных двигателях. Технічна механіка. 2017. № 3. С. 30–44. <https://doi.org/10.15407/itm2017.03.030>
 15. Nikolayev O. D., Bashliy I. D., Khoryak N. V. Computation of the POGO self-oscillation parameters in the dynamic "propulsion – rocket structure" system by using a 3D structural model. Технічна механіка. 2018. № 2. – Р. 17–29. <https://doi.org/10.15407/itm2018.02.017>
 16. Пилипенко О. В., Николаев О. Д., Башлій І. Д., Хоряк Н. В., Долгополов С. І. Сучасний стан теоретичних досліджень високочастотної стійкості робочих процесів в камері згоряння рідинних ракетних двигунів. Технічна механіка. 2020. № 2. С. 5–21. <https://doi.org/10.15407/itm2020.02.005>
 17. Nikolayev O. D., Bashliy I. D., Khoriak N. V., Dolgoplov S. I. Evaluation of the high-frequency oscillation parameters of a liquid-propellant rocket engine with an annular combustion chamber. Технічна механіка. 2021. No 1. P. 16–28. <https://doi.org/10.15407/itm2021.01.016>
 18. Пилипенко М. В. Виброзащитная система объектов ракетно-космической техники при их транспортировке. Технічна механіка. 2020. № 1. С. 120–130. <https://doi.org/10.15407/itm2020.01.120>
 19. Кваша Ю. А., Зиневич Н. А. К интерполяции целевой функции при оптимизации технических систем. Техническая механика. 2018. № 2. С. 71–79. <https://doi.org/10.15407/itm2018.02.071>
 20. Кваша Ю. А., Зиневич Н. А., Петрушенко Н. В. Аэродинамическое совершенствование входного направляющего аппарата центробежной компрессорной ступени. Технічна механіка. 2019. № 3. С. 38–44. <https://doi.org/10.15407/itm2019.03.038>
 21. Кваша Ю. А., Зиневич Н. А. Аэродинамическое совершенствование рабочих колес центробежных компрессорных ступеней. Технічна механіка. 2019. № 1. С. 57–67. <https://doi.org/10.15407/itm2019.01.053>
 22. Кваша Ю. О., Зиневич Н. А. Про вплив форми меридіонального контура на енергетичні характеристики відцентрового колеса компресора. Технічна механіка. 2020. № 3. С. 12–17. <https://doi.org/10.15407/itm2020.03.012>
 23. Кваша Ю. О. Розрахунок просторового турбулентного потоку в каналах авіаційних газотурбінних двигунів. Технічна механіка. 2020. № 4. С. 65–71. <https://doi.org/10.15407/itm2020.04.065>
 24. Осадчий О. В., Усенко О. Л., Пилипенко М. В., Попов А. І. Визначення гранулометричного складу твердого матеріалу після здрибнювання його за кавітаційно-імпульсною технологією. Технічна механіка. 2020. № 2. С. 123–36. <https://doi.org/10.15407/itm2020.02.123>

Отримано 01.06.2021,
в остаточному варіанті 09.06.2021